

PENGARUH PENCUCIAN LARUTAN NaOCl DAN PENAMBAHAN KOLOM KEDUA ALUMINA TERHADAP YIELD DAN LOLOSAN ⁹⁹Mo (*Mo BREAKTHROUGH*) DARI GENERATOR ⁹⁹Mo/^{99m}Tc BERBASIS PZC (POLY ZIRCONIUM COMPOUND)

ADANG H.G., A. MUTALIB, HOTMAN L, R. AWALUDIN, SULAEMAN

*Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka – BATAN
Kawasan Puspiptek Serpong Gd. 11 Serpong- Tangerang
adanghg56@yahoo.com*

Abstrak

Alumina merupakan salah satu bahan utama dalam generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc yang berfungsi sebagai zat pengadsorpsi molibdenum. Keterbatasan daya serap alumina terhadap molibdenum menyebabkan senyawa ini tidak dapat digunakan sebagai pengisi kolom untuk generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc yang menggunakan ⁹⁹Mo hasil aktivasi neutron. Dengan diketemukannya senyawa baru sebagai zat pengadsorpsi molibdenum yaitu PZC (poly zirconium compound), telah memberikan harapan baru untuk dapat dilakukannya pembuatan generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc. Penelitian pembuatan generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc dengan menggunakan senyawa PZC sebagai adsorbent merupakan bentuk kerjasama antara PRR-BATAN Serpong dengan JAERI dan Kaken Co. Jepang. Dalam penelitian ini telah dilakukan percobaan pembuatan generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc dengan melihat pengaruh penambahan pencucian menggunakan larutan NaOCl terhadap Yield dan lolosan ⁹⁹Mo (⁹⁹Mo breakthrough) dalam larutan ^{99m}Tc hasil elusi. Parameter lainnya yang digunakan untuk mengurangi lolosan ⁹⁹Mo dalam ^{99m}Tc hasil elusi adalah penambahan kolom alumina yang ditempatkan setelah kolom ⁹⁹Mo-PZC. Hasil penentuan kapasitas serap senyawa PZC terhadap molibdenum diperoleh dengan melihat aktivitas ⁹⁹Mo setelah pemanasan 3 jam campuran PZC dan molibdenum dan diperoleh hasil setiap gram PZC mampu menyerap 80-95 % mg dari 268 mg molibdenum yang direaksikan. Hasil penentuan yield elusi generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc dengan larutan pencuci salin diperoleh kurang dari 50 % dan Yield meningkat menjadi besar dari 80 % setelah pencucian dilakukan dengan menggunakan larutan NaOCl 0,5 % atau 1 %. Penggunaan larutan pencuci NaOCl 0,5 % dan penggunaan kolom alumina sebagai kolom kedua mampu menjaga kestabilan Yield hasil elusi dan meminimalkan lolosan ⁹⁹Mo pada ^{99m}Tc hasil elusi.

Kata kunci : alumina, generator PZC, ⁹⁹Mo, ^{99m}Tc, NaOCl

Abstract

Alumina is one of main material in ⁹⁹Mo/^{99m}Tc generator as molybdenum adsorbent. Limitation of alumina adsorption capacity to molybdenum cause this material cannot be applied as column filler for generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc using ⁹⁹Mo from neutron activation. The invention of new compound as molybdenum adsorbent, PZC (poly zirconium compound), have been shown that the materials is a promising adsorbent for generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc from (n,γ) irradiated molybdenum. The research of generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc by using adsorbent PZC is form of cooperation between PRR-BATAN Serpong with JAERI and Kaken Co. Japan. In this research, the effects of addition of NaOCl solution to elution yield and ⁹⁹Mo breakthrough have been done. The other parameter used in this experiment to minimized ⁹⁹Mo breakthrough in ^{99m}Tc is addition of second column alumina placed after ⁹⁹Mo-PZC column. Adsorption capacity of PZC material to molybdenum determined by heating ⁹⁹Mo solution with PZC up to 3 hours and the result indicated 1 gram PZC adsorbed 80-95 % ⁹⁹Mo from the reacted 268 mg molybdenum. Yield percentage of the ⁹⁹Mo/^{99m}Tc generator without rinsed by saline solution obtained less than 50 % and the yield increased more than 80 % after the column washing by using

NaOCl 0,5 % or 1 % solutions. Usage of both NaOCl 0,5 % solution and alumina column as second column can prevent of yield stability and minimized ^{99}Mo breakthrough at $^{99\text{m}}\text{Tc}$ effluent.

Keywords : Alumina, PZC generator, ^{99}Mo , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, NaOCl

PENDAHULUAN

Teknesium-99m merupakan radionuklida yang paling banyak digunakan dalam kedokteran nuklir, diperoleh dari hasil peluruhan ^{99}Mo dalam bentuk ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generator dengan menggunakan ^{99}Mo dari hasil fisi ^{235}U . Pada saat ini, radionuklida $^{99\text{m}}\text{Tc}$ umumnya diperoleh dari generator yang berbasis kromatografi kolom menggunakan alumina sebagai penyerap ^{99}Mo . Radionuklida $^{99\text{m}}\text{Tc}$ diperoleh dengan cara mengelusi generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dengan larutan salin. Tingginya permintaan pemakaian $^{99\text{m}}\text{Tc}$ di dalam kedokteran nuklir disebabkan sifat fisisnya yang ideal untuk keperluan diagnosis yaitu memiliki waktu paruh pendek (6 jam), tidak memancarkan partikel bermuatan dan mempunyai sinar gamma 140 keV yang sangat ideal untuk kamera gamma. Molibdenum-99 yang digunakan dalam generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ umumnya merupakan hasil belah dari ^{235}U yang ditembak dengan neutron thermal di reaktor sehingga mempunyai spesifik aktivitas yang tinggi. Molibdenum-99 juga dapat diperoleh dari reaksi aktivasi (n, γ) di reaktor dari target ^{98}Mo alam atau yang diperkaya, meskipun demikian, ^{99}Mo yang dihasilkan mempunyai aktivitas spesifik yang rendah dibanding dengan ^{99}Mo hasil pembelahan ^{235}U [1,2,3].

Terbatasnya daya serap alumina terhadap molibdenum (< 10 mg Mo/g alumina) mengakibatkan sulitnya pengembangan generator teknesium dengan menggunakan ^{99}Mo dari hasil aktivasi neutron yang menghasilkan radionuklida ^{99}Mo dengan spesifik aktivitas yang rendah [4,5].

Pengembangan ^{99}Mo dengan spesifik aktivitas rendah dari hasil aktivasi neutron pertama kali dilakukan dengan generator gel dari zirconium atau titanium molibdat dan hal ini dianggap sebagai salah satu alternatif untuk menghasilkan $^{99\text{m}}\text{Tc}$ meskipun proses pembuatannya sulit dan memakan waktu lama [1].

Pada tahun 1994-1999 berdasarkan kerjasama antara Kaken Co. Jepang dengan JAERI, telah berhasil disintesa suatu senyawa polimer anorganik dengan nama PZC (poly zirconium compound) yang mempunyai daya serap terhadap Mo sebesar ~ 250 mg Mo/g PZC. Penemuan ini telah memberikan harapan untuk dapat membuat generator $^{99\text{m}}\text{Tc}$ dari ^{99}Mo hasil reaksi (n, γ) dengan aktivitas yang tinggi, tanpa limbah radionuklida yang bewaktu paruh panjang dan harga yang jauh lebih murah dari yang ada pada saat ini (^{99}Mo dari hasil fisi). Pada tahun 2000-2003, dengan adanya kerjasama antara BATAN dengan Kaken Co. Jepang, telah dilakukan berbagai penelitian yang berkaitan dengan kemungkinan untuk pembuatan generator $^{99\text{m}}\text{Tc}$ dari Mo hasil reaksi (n, γ) dengan PZC [1,3].

Dalam makalah ini akan dilaporkan hasil penelitian Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang berbasis PZC berkenaan dengan pengaruh penambahan larutan pencuci NaOCl dan penambahan kolom alumina sebagai kolom kedua terhadap *yield* dan lolosan ^{99}Mo (*^{99}Mo breakthrough*) pada $^{99\text{m}}\text{Tc}$ hasil elusi.

TATA KERJA

Bahan dan Peralatan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah radionuklida ^{99}Mo yang diperoleh dari hasil irradiasi MoO_3 di RSG-GAS selama 10 hari pada fluks $1,2 \times 10^{14}$ n.cm⁻².S⁻¹. Larutan ^{99}Mo dibuat dengan konsentrasi radioaktif 50-60 mCi/ml dan kandungan molibdenum 53,4 mg Mo/ml. PZC (poly zirconium compound) diperoleh dari Kaken Co. Japan. Peralatan gelas seperti kolom, beaker glas, erlenmeyer, gelas ukur dan pipet ukur menggunakan bahan dari gelas Pyrex. Bahan kimia lainnya seperti $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, HCl, NaOH, metanol, HNO_3 , aseton (semuanya buatan Merck). *Single channel analyzer* (Veenstra Instrument) digunakan sebagai pencacah radioaktivitas. Spektrometer gamma yang dilengkapi dengan perangkat lunak Genie 2000 digunakan untuk penentuan aktivitas

^{99}Mo , kemurnian radionuklida dan menghitung aktivitas lolos ^{99}Mo dalam hasil elusi. Kertas kromatografi. *Dose calibrator* (Victoreen) digunakan sebagai pencacah larutan bulk. Peralatan lain yang digunakan adalah pH meter, termometer dan pelat pemanas.

Pembuatan Kolom Alumina

Sebanyak 3 g (kolom panjang) dan 1,5 g (kolom pendek) alumina disuspensikan dalam akuadest, kemudian suspensi tersebut dimasukkan kedalam kolom gelas ukuran 1 x 8 cm. Kedua ujung kolom ditutup dengan septa dan seal aluminium.

Proses Penyerapan ^{99}Mo pada PZC dan Loading ke Kolom Generator

Sebanyak 5 ml larutan ^{99}Mo dimasukkan ke dalam gelas beaker 50 ml, kemudian ditambahkan 35 ml akuades. Pada larutan tersebut ditambahkan perlahan-lahan 1 g senyawa PZC. Campuran direaksikan dengan pemanasan pada 90 °C selama 3 jam. Setelah pemanasan, campuran didinginkan dan kemudian didekantasi, dicuci dengan 40 ml larutan salin (atau NaOCl) dan dimasukkan ke dalam kolom gelas ukuran 1 x 8 cm.

Elusi Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$

Kolom alumina dipasang dibawah kolom generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$. Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dielusi setelah 24 jam dengan menggunakan larutan salin sebanyak 10 ml.

Pada larutan hasil elusi dilakukan pengujian-pengujian :

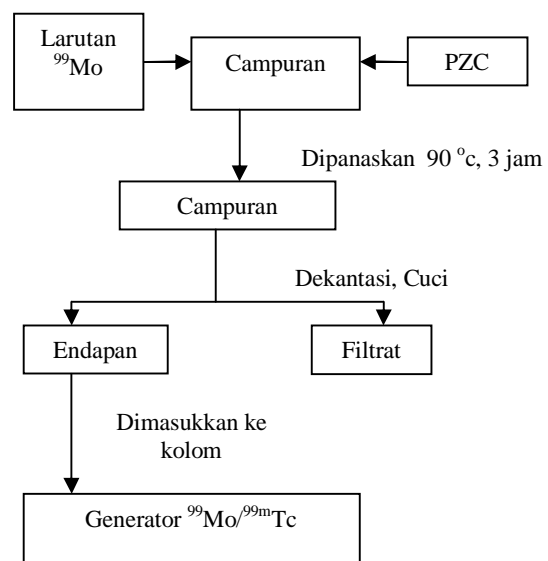
1. Penentuan aktivitas ^{99}Mo dalam kolom alumina menggunakan *Gamma Ionization Chamber* (GIC)
2. Yield hasil elusi

Penentuan Lolos ^{99}Mo (Molibdenum breakthrough) pada Hasil Elusi

Larutan hasil elusi diluruhkan selama 2 minggu. Diambil 1 ml eluat, dimasukkan kedalam vial 10 ml dan kemudian diencerkan dengan larutan salin sampai volume 10 ml. Besarnya aktivitas lolos ^{99}Mo yang terdapat dalam larutan hasil elusi ditentukan menggunakan spektrometer gamma pada energi 366 keV.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perakitan generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ berbasis PZC dilakukan berdasarkan pada skema yang terlihat Gambar 1. Untuk mengetahui berapa banyak ^{99}Mo yang terdapat pada kolom generator dilakukan penghitungan kapasitas serap yaitu dari banyaknya Mo yang direaksikan dikurangi dengan filtrat hasil dekantasi dan pencucian. *Yield* hasil elusi generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ adalah perbandingan aktivitas $^{99\text{m}}\text{Tc}$ hasil elusi dengan aktivitas $^{99\text{m}}\text{Tc}$ teoritis yang terdapat pada kolom.

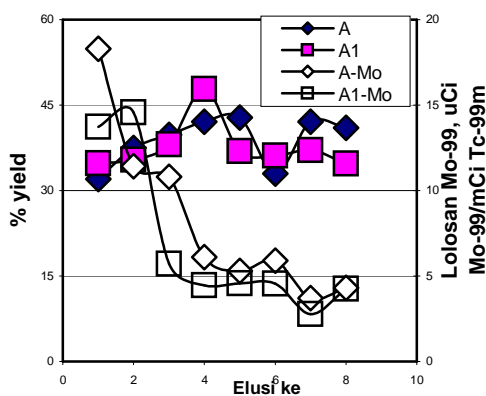


Gambar 1. Skema perakitan Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ berbasis PZC

Dari hasil perakitan generator Mo-99/Tc-99m, telah diperoleh bahwa kapasitas serap dari PZC terhadap molibdenum adalah sekitar 80 – 95 % (> 200 mg) dari total molibdenum yang direaksikan (268 mg molibdenum). Tingginya kapasitas serap PZC terhadap molibdenum ini akan memungkinkan untuk membuat suatu generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dari hasil aktivasi yang mempunyai aktivitas spesifik rendah dibanding dengan ^{99}Mo hasil pembelahan ^{235}U .

Pada perakitan generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dengan aktivitas ^{99}Mo besar dari 100 mCi dan dengan menggunakan larutan salin sebagai pencuci (Gambar 2), dari 8 kali elusi diperoleh *yield* kecil dari 50 % dengan lolos ^{99}Mo antara 3 – 20 μCi $^{99}\text{Mo}/\text{mCi}$ $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Hasil ini menunjukkan bahwa *yield* dan lolos ^{99}Mo yang diperoleh dalam $^{99\text{m}}\text{Tc}$ hasil elusi belum memenuhi persyaratan untuk generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ pada umumnya (*yield* > 80 %

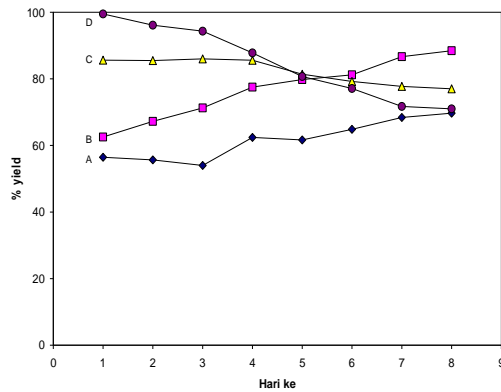
dan lolosan $^{99}\text{Mo} < 1,5 \mu\text{Ci } ^{99}\text{Mo}/\text{mCi } ^{99\text{m}}\text{Tc}$, sedangkan dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Tanase dan kawan-kawan dengan aktivitas ^{99}Mo kecil dari 10 mCi diperoleh bahwa *yield* hasil elusi besar dari 80 % [1,2]. Rendahnya *yield* yang diperoleh kemungkinan disebabkan oleh adanya elektron tersolvatasi (*solvated electron*) yang terbentuk akibat radiasi partikel β tinggi dari ^{99}Mo yang akan mereduksi $^{99\text{m}}\text{Tc(VII)}$ dan $^{99}\text{Mo(VI)}$ membentuk valensi yang lebih rendah dari $^{99\text{m}}\text{Tc}$ dan ^{99}Mo . Terbentuknya $^{99\text{m}}\text{Tc}$ valensi rendah menyebabkan radionuklida tersebut akan tertahan pada kolom sehingga menghasilkan *yield* hasil elusi yang rendah dan terbentuknya ^{99}Mo valensi rendah akan menyebabkan tingginya lolosan Mo ($^{99}\text{Mo breakthrough}$) pada hasil elusi [3,4,5].



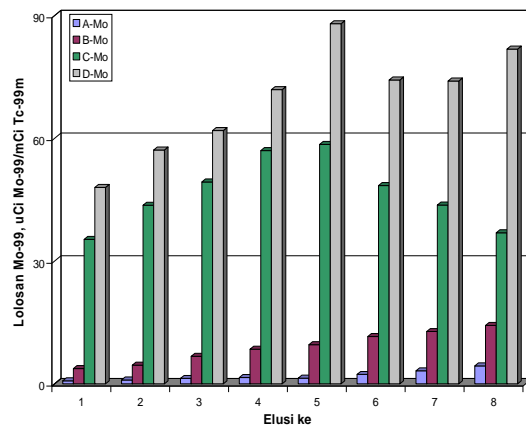
Gambar 2. *Yield* dan Lolosan ^{99}Mo dari sistem Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Berbasis PZC dengan pencucian menggunakan NaCl 0,9 % (A = *yield* generator A, A-Mo = lolosan ^{99}Mo pada generator A, A1 = *yield* generator A1, A1-Mo = lolosan ^{99}Mo pada generator A1)

Penggunaan reduktor NaOCl dimaksudkan untuk menaikkan valensi $^{99\text{m}}\text{Tc}$ dan ^{99}Mo menjadi $^{99\text{m}}\text{Tc}^{7+}$ dan $^{99}\text{Mo}^{6+}$. Untuk mendapatkan konsentrasi NaOCl yang diperlukan dilakukan variasi konsentrasi yaitu 0,05 %, 0,1 %, 0,5 % dan 1 % sebagai larutan pencuci kolom generator sebelum dielusi dengan larutan salin. Hasil penggunaan variasi konsentrasi larutan pencuci NaOCl terhadap *yield* dan lolosan ^{99}Mo dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 3. Pada konsentrasi larutan pencuci NaOCl 0,05 dan 0,1 % rata-rata *yield* yang diperoleh masih kecil dari 80 % dan lolosan ^{99}Mo masih tinggi (0,73-15 $\mu\text{Ci } ^{99}\text{Mo}/\text{mCi } ^{99\text{m}}\text{Tc}$) sedangkan untuk konsentrasi

NaOCl 0,5 % dan 1 %, rata-rata *yield* diperoleh besar dari 80 % tetapi lolosan ^{99}Mo naik dengan drastis menjadi besar dari 35 $\mu\text{Ci } ^{99}\text{Mo}/\text{mCi } ^{99\text{m}}\text{Tc}$.



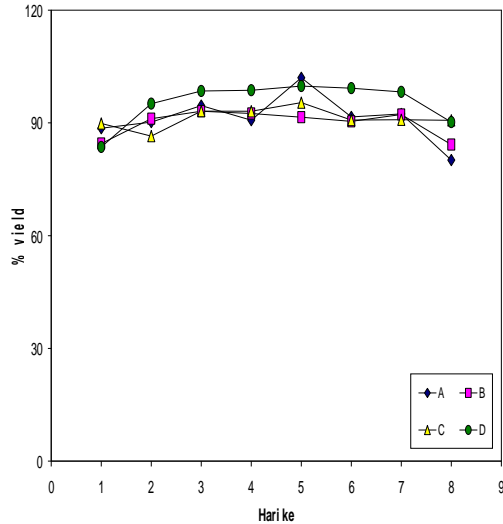
Gambar 3. Pengaruh pencucian dengan variasi kadar NaOCl terhadap *yield* molibdenum pada Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ berbasis PZC (A = dengan NaOCl 0,05 % , B = dengan NaOCl 0,1 % , C = dengan NaOCl 0,5 %) , D = dengan NaOCl 1 %)



Gambar 4. Pengaruh pencucian dengan variasi kadar NaOCl terhadap lolosan Mo-99 (*Mo-99 breakthrough*) pada sistem Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ berbasis PZC (A = dengan NaOCl 0,05 % , B = dengan NaOCl 0,1 % , C = dengan NaOCl 0,5 %) , D = dengan NaOCl 1 %)

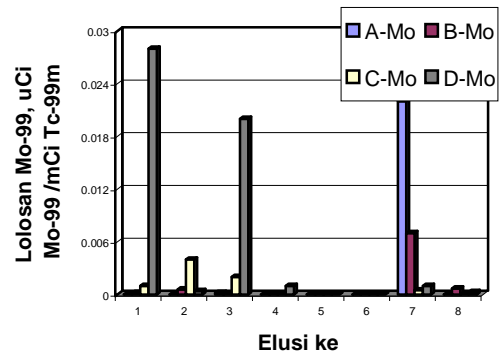
Dengan melihat hasil elusi dari variasi konsentrasi pencuci NaOCl pada Gambar 3 dan 4 dapat disimpulkan bahwa untuk meminimalkan lolosan ^{99}Mo pada hasil elusi perlu tambahan bahan yang dapat menyerap ^{99}Mo . Dalam penelitian ini dengan 5 ml larutan pencuci NaOCl 0,5 %, sebagai penyerap ^{99}Mo digunakan alumina yang dibuat dalam ukuran kolom panjang yang berisi 3 g alumina dan kolom pendek yang berisi 1 g alumina. Hasil yang diperoleh dari penambahan kolom

alumina sebagai kolom kedua dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Pengaruh pemakaian kolom alumina sebagai penangkap lolosan Mo-99 pada Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ berbasis PZC (A dan B = kolom dengan berat alumina 3 g, C dan D = kolom dengan berat alumina 1 g)

Hasil percobaan variasi berat alumina terhadap *yield* hasil elusi (Gambar 5) tidak berpengaruh terhadap kestabilan *yield* yang diperoleh. Dari hasil percobaan penambahan kolom alumina dengan berat 3 g dan 1 g seperti yang terlihat pada Gambar 6, dapat menjelaskan bahwa untuk meminimalkan lolosan ^{99}Mo pada $^{99\text{m}}\text{Tc}$ hasil elusi diperlukan penambahan kolom alumina dengan berat minimum 1 g. Penggunaan berat alumina 1g didasarkan pada hasil yang diperlihatkan dari Gambar 6 yaitu dengan berat alumina 1 g atau 3 g memperlihatkan lolosan ^{99}Mo yang terjadi masih 1/20 kali lebih kecil dari batas maksimum yang diijinkan ($0,15 \mu\text{Ci } ^{99}\text{Mo}/\text{mCi } ^{99\text{m}}\text{Tc}$).



Gambar 6. Lolosan ^{99}Mo Pada Hasil Elusi $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Dari Sistem Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Berbasis PzC (Poly Zirconium Compound) Dengan Kolom Alumina. (A-Mo Dan B-Mo = Lolosan ^{99}Mo Dari Kolom Dengan 1 G Alumina, C-Mo Dan D-Mo = Lolosan ^{99}Mo Dari Kolom Dengan 3 G Alumina)

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian mengenai Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ berbasis PZC dengan melihat pengaruh pencucian NaOCl dan penambahan kolom alumina terhadap kualitas $^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang dihasilkan (*yield* dan lolosan ^{99}Mo), dapat disimpulkan bahwa pencucian dengan larutan NaOCl 0,5 % dapat menaikkan *yield* hasil elusi meskipun diikuti dengan kenaikan lolosan ^{99}Mo . Penambahan kolom alumina (1 g alumina) yang dipasang setelah kolom Generator ^{99}Mo -PZC dapat meminimalkan jumlah lolosan ^{99}Mo pada $^{99\text{m}}\text{Tc}$ hasil elusi. Kapasitas serap dari senyawa PZC terhadap molibdenum menunjukkan bahwa dari 268 mg molibdenum yang direaksikan dapat diserap sebesar 80-95 %.

DAFTAR PUSTAKA

- TANASE M., TATENUMA K., ISHIKAWA K., KUROSAWA K., NISHINO M., HASEGAWA Y., A $^{99\text{m}}\text{Tc}$ Generator using a New Inorganic Polymer Adsorbent for (n, γ) ^{99}Mo (1997), *Appl. Radiat. Isot.* Vol. 48, No. 5.
- ANONIM, Quality Control Manual Mo-99 Fission Product, Medi Physics, USA.
- MUTALIB A., GUNAWAN A.H., LUBIS H., AWALUDIN R., HAMID, SULAEMAN, ISHIKAWA K., SUMIYA K., HISHINUMA Y., YOSHIDA K., TATENUMA K., A Performance of (n, γ) $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Generators

Produced by Using PZC Materials and Irradiated Natural Molybdenum, Proceedings of The 2001 Workshop on the Utilization of Research Reactors, Beijing China.

4. VESELY P., CIFKA J., Some Chemical and Analytical Problems Connected with Technetium-99m Generators, Radiopharmaceuticals from Generator Produced Radionuclides, Proceeding of Panel, Vienna, IAEA, 1070, pp. 71.
5. STEIGMAN J., Chemistry of the Alumina Column, *J. Appl. Radiat. Isot.*, Vol 33 (1982), pp. 829-834.

TANYA JAWAB

Pertanyaan

1. Mengapa pada saat ini produksi Tc^{99} di RSG menggunakan FPM, padahal produk yang dihasilkan banyak pengotornya? (Sutrisno-PRSG)

Jawaban

1. Karena FPM dari HEU menghasilkan Mo-99 dengan Spesifik aktifitas tinggi yang sangat sesuai untuk generator, Mo-99/Tc-99m berbasis alumina.